

# 원적외선 가열의 메커니즘과 각종 건조공정에 대한 응용 사례

사) 일본 전구공업회  
고문 가와모도 고다로

## 1. 들어가는 말 - 적외방사(적외선)을 이용한 가열·건조

가열은 물질을 가공·변형시키거나, 성질을 바꾸거나 함으로써 유용한 것을 만들어내는 수단으로써, 또, 일상생활에서는 난방이나 조리, 급탕 등 쾌적한 환경을 조성하기도 하여, 쾌적하면서 문화적인 생활을 이루기 위한 중요한 수단이다. 또, 이 가열(열에너지 공급)의 하나의 응용인 건조에 대해서도 [세탁물과 이불의 건조등 일상생활에 직접적으로 유용한 수단으로 널리 활용되고 있으며, 각종 산업이나 공업에는 반드시 어떠한 건조공정이 있으며, 그것들을 통해서 생산되는 수많은 제품은 각각 일상생활의 향상에 공헌하고 있음은 잘 알려진 바와 같다.

적외가열은 이 가열 형태 가운데 하나로, 어떤 1차 에너지를 적외방사로 변환하여 대상물(피가열물)에 공급하여 대상물에 흡수된 후, 그 안에서 열에너지로 변환되어 대상물의 온도를 상승시키는 가열형태를 말한다.

이 적외가열은 그러한 여러 가지 특징을 살려서, 얼마 전부터 급격하게 널리 이용되게 되었는데, 특히 최근, 적외방사의 일부 파장역의 방사인 [원적외방사(원적외선)]이 여러 상황으로 화제를 모으기 시작한 사실도 있어, 각 방면에서 기초연구와 응용연구가 진행되고 있는 실정이다. 이러한 상황에 대한 이해를 돕고, 앞으로의 응용개발의 발전·전개를 가일층 도모하는데 일조하기 위해, 이 적외가열기술(및 건조기술)에 대한 최근의 상황과 그 실제 사례를 정리해 보았다.

또한 최근에는 위에서 기술했듯이, 원적외방사 이용이 특히 주목되고 있는 상황이므로, 이하의 항목 속에서 [원적외방사]와 관련이 있는 사항에 대해서는 되도록 생략하지 않고 기술하고자 했다.

또 본 자료에서 사용하고 있는 용어 [적외방사(적외선)]과 [원적외방사(원적외선)]에 대해 약간의 관련사항을 기술한다면, 전문용어나 JIS용어, 文部省의 학술용어에서는 [(원)적

외선]이 아니라 [(원)적외방사]가 표준화되어 있다.

본 자료는 심포지움용 자료로서 관련 전문가 각위를 대상으로 작성한 것이므로 당연히 [(원)적외선]이 아닌 [(원)적외방사]를 사용해야 한다고 생각한다. 그러나 우리나라에서는 일상용어로서는 아직도 [적외선]이 널리 사용되고 있는 것이 실상이므로 이 현상을 이해하여 본자료에서도 적당히 [적외선][원적외선]을 병용하기로 하였다.

## 2. 적외선과 원적외선의 정의와 파장 구분

우선 제일 먼저, 아래에 기술할 내용을 가능한 한 전문적으로 이해할 수 있도록 적외선의 파장 구분 및 원적외선의 파장 범위에 대해 정리하겠다.

원적외방사(원적외선)이란 이미 많이들 알고 있으리라 생각되나, 적외방사(적외선)의 일부분-파장이 긴 부분을 말하는 용어이다.

그런데, 적외선이나 원적외선을 전문적 사항으로 검토하거나, 전문적 입장에서 정량평가를 하거나 하기 위해서는, 적외선과 원적외선의 구분파장을 포함한 개념이 흔들림 없도록 명확한 공통이해가 얻어져야 함은 말할 필요가 없다.

구분하는 파장에 있어 적외선 쪽은 780nm ~ 1mm의 구분파장에 의거하고, 국제적으로도 거의 통일되어 공통이해가 얻어져 있으나, 원적외선 쪽은 단파장 쪽의 구분파장이 사용되는 분야 등에 따라 반드시 동일하지는 않다.

적외선 중에도 최근 특히 화제성이 높은 [원적외선]에 대해, 관련산업의 정상적인 발전을 기대한다는 측면에서는 사소한 일일지 모르나, 모든 관계자 사이에서 콘센서스를 얻지 못하고 있다는 것은 유감스런 일이다. 이러한 콘센서스를 얻는(표준화되는) 방법으로서, 특정 관계자마다 각각의 경우에 따라 단체규격, 국가규격, 지역규격, 국제규격 등과 같은 형태로 콘센서스를 얻어 나가는 방법이 있다. 당연한 일이지만, 우선적으로 콘센서스를 가장 얻기 쉬운 것은 단체규격이며, 지금 현재까지 이러한 단체규격을 공식적으로 제정한 학회나 업계단체가 몇 군데 있다.

단, 보다 넓은 범위의 콘센서스가 필요한 국가규격이나 지역, 국제규격으로 공식적으로 제정·표준화되어 있는 예는 적다. 예를 들면, 앞서 기술한 [조명전문용어](조명분야에서 우리나라의 국가레벨의 표준이라고 생각할 수 있다)에서는 콘센서스가 충분히 취득되지 못한 상태라는 단서 하에서, 몇몇 단체규격과 국가규격, 국제규격 등의 구분파장 예를 병기하고 있다.

표1 적외방사, 원적외방사의 파장구분과 정의

[일본전열협회 · 편 [적외가열용어](1988.3)에 의한]

번호	용어	로마자	영어	정의	비고
1.01	전자파	denzaha	electromagnetic wave	전장과 자장의 공간과 시간변화에 의해 특징지어지는 파 그 사이의 관계는 맥스웰의 방정식에 의해 주어진다. 자유공간에서는 광속도로 진행한다.	
1.02	방사	hosya	radation	1. 전자파 혹은 입자의 형태에 의한 에너지의 방출 또는 전달. 2. 또는 이들 전자파 및 입자선의 총칭.	
1.03	광방사	hikari-hosya	optical radation	파장이 X선과의 경계(대략 1nm)과 마이크로파와의 경계(대략 1mm)와이 사이에 있는 방사. 적외선이라고도 한다.	
1.04	적외방사	sekigai-hosya	infrared radation	파장이 가시방사의 장파한계(거의 800 nm)과 마이크로파의경계(거의 1mm)과의 사이에 있는 방사. 적외선이라고도 한다.	
1.05	근적외방사	kinsekigai-hosya	short wave infrared radation near infra-red radiation	파장이 2 $\mu$ m이하인 적외방사근적외선이라고도 한다.	
1.06	중적외방사	tyusekigai-hosya	medum wave infrared radation intermediate infrared radation middle infrared radation	파장이 2 $\mu$ m과 4 $\mu$ m 사이에 있는 적외방사. 중적외선이라고도 한다.	
1.07	원적외방사	ensekigai-hosya	long wave infrared radiation far infrared radation	파장이 4 $\mu$ m보다 긴 적외방사원적외선이라고도 한다.	
1.08	극단원적외방사	kyokutan-ensekigai-hosya	extreme infrared radiation	파장이 25 $\mu$ m보다 긴 원적외방사.	
1.09	열선	nessen	thermal ray	물질이나 생체에 흡수되면 화학반응을 일으키지 않고 열에너지로 변환되는 방사의 통칭.	
1.10	방사열전달	hosya-netu-dentatu	radation heat transfer	열방사의 형태로 에너지를 주고받는 열전달의 한 형태.	

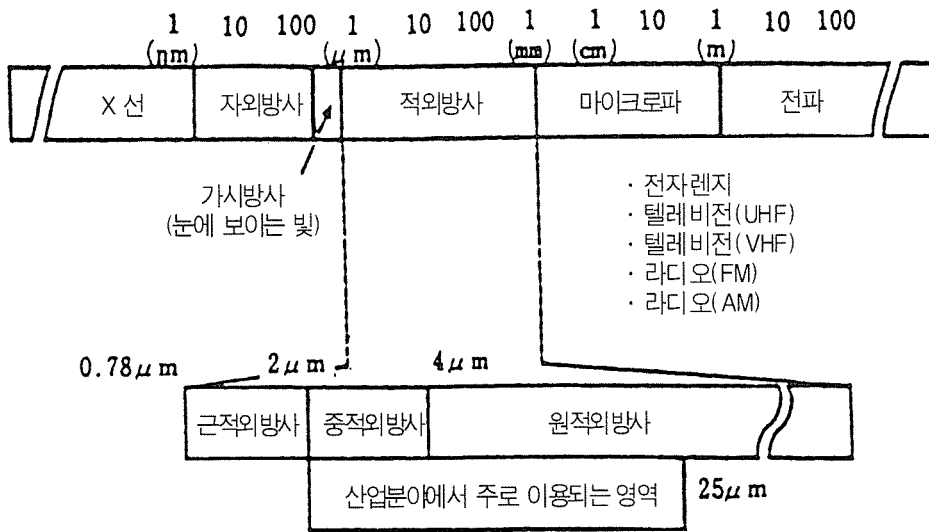


그림1. 전자파의 종류와 파장구분

국제규격으로서는 IEC(국제전기표준회의)가 [국제전기표준용어]로서, [공업용전기가열] 분야에 대해 [원적외방사]의 개념을 표준화하여, 단파장 쪽의 구분파장을  $4\mu\text{m}$ (즉 원적외선 파장범위 :  $4\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ )로 하였다.

우리나라에서는 관련단체규격으로써 일본전열협회편찬 [적외가열용어집]이 1988년에 제정, 공포되었다. 이 용어집에도 [원적외방사]가 채택되었는데, 이 적외가열용어집에서의 [원적외방사]의 구분파장은, 기본적으로는 상기 IEC용어를 따르고 있다. 단, 위에서 기술한 여러 분야의 상황을 충분히 배려하여, 우리나라의 현상에 적합하도록 주석을 병기하고 있어 실용적이라고 생각된다. 표1 및 그림1에 일본전열협회편찬 [적외가열용어집]에 표준화되어 있는 적외방사 및 원적외방사의 개념과 파장구분을 제시하였다.

어쨌든 보다 넓은 범위에 걸친 컨센서스를 얻기 위해서는 우선 그 분야를 구성하는 요소 단체마다 각각이 그 단체 내부에서 컨센서스를 공식적으로 만드는 일이 중요하며, 앞으로 그 작업의 진행을 기대한다.

### 3. 방사에 의한 전열과 방사가열의 문제점

어떤 것을 가열하기 위해서는 가열의 대상물에 열에너지가 직접적으로 공급되거나, 또는 다른 형태의 에너지가 공급되어 대상물에 흡수된 후, 열에너지로 변환될 필요가 있다. 따라서 우선 가열의 기초로서 적외가열에 직접 관계가 있는 열에너지원에서 열에너지가 대



표 2에 나타난, 방사에 의한 전열의 특징에 있어 이용상의 주의점은, 이 전달 형태의 특색에 기인한 것이 많다.

이 열에너지가 전자파 에너지로 변환되는 과정에 대해서는 독일의 물리학자 프랭크에 의해 자세히 연구되어, 변환공식이 구해졌다(프랭크의 방사칙 공식). 프랭크의 방사칙 공식은 많이 알려져 있으므로 여기에서는 지면 관계상 기술을 생략하겠다.

이 프랭크의 방사칙에 따르면, 열에너지원의 온도가 1500K 이하인 경우, 변환되는 전자파는 대부분 전부가 적외선이 되고, 에너지원의 온도가 더욱 저하하여 800K보다 낮아지면, 적외선 중에서도 원적외선이 차지하는 비율이 많아진다는 것을 알 수 있다. 따라서, 원적외선 가열에는 에너지원으로서 온도가 800K(530°C) 전후보다 낮은 열원이 사용되는 경우가 많다.

이 방사(원적외선)에 의한 가열에서 주의해야 할 것은, 대상물(피가열물)의 온도이다. 프랭크의 방사칙 공식에 따르면, 일정한 온도에 있는 물체는 반드시 그 온도의 에너지(열에너지)를 전자파 에너지로 변환하게 된다(가지고 있는 에너지를 방사의 형태로 다른 곳으로 전달한다는 조건을 만족시킬 필요가 있지만). 가열 과정에서는 피가열물의 온도가 0K(절대0도)라는 것은 있을 수 없으므로, 피가열물도 프랭크의 방사칙 공식에 따른 전자파를 에너지로 방출하게 된다.

그러므로 방사에 의한 전열에서는, 실제로 전달되는 에너지의 양은 이 피가열물의 방사(전자파에 의해 전달되는 분량)를 뺀 부분이라고 할 수 있다. 표2에 나타난 방사에 의한 전열량의 계산식에 뺄셈항이 있는 것은 그런 이유에 따른 것이다.

단, 이것은 에너지원(열원)의 온도와 피가열물의 온도차가 큰 경우에는 사실상 문제가 되지 않는다. 그림2에 열원의 온도가 500°C, 피가열물의 온도가 100°C인 경우에 전달되는 에너지의 양(열량과 거의 같다고 생각할 수 있다)의 분광분포를 나타내었다.(단, 계산을 간단하게 하기 위해, 열원과 피가열물의 상호 외면의 형상(방사의 형태계수라고 한다)은 서로 같다고 보았다.) 그림2에서 밝혀졌듯이 이 정도의 온도차가 있으면 전달되는 에너지 양(열량)은 열원의 방사에너지양과 거의 같다고 할 수 있다.

한편, 그림3에 열원의 온도가 같은 500°C, 단, 피가열물의 온도가 400°C인 경우에 대해, 마찬가지로 전달되는 에너지 양의 분광분포를 나타내었다. 이 경우에는, 전달되는 에너지 양은 그림2의 경우에 비해 적어졌다는 것을 알 수 있다.

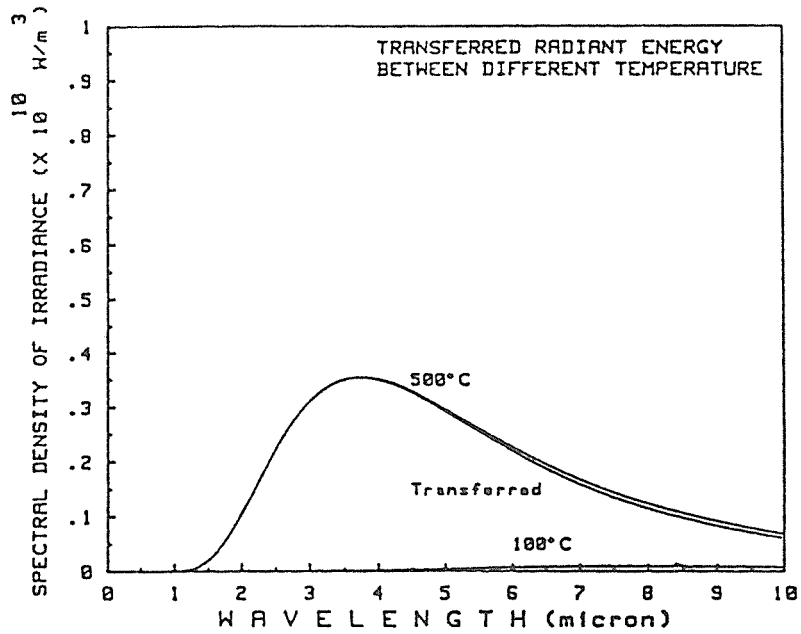


그림2 두 물체간 방사에 의한 에너지 전달 상황(①500°C와 100°C의 경우)

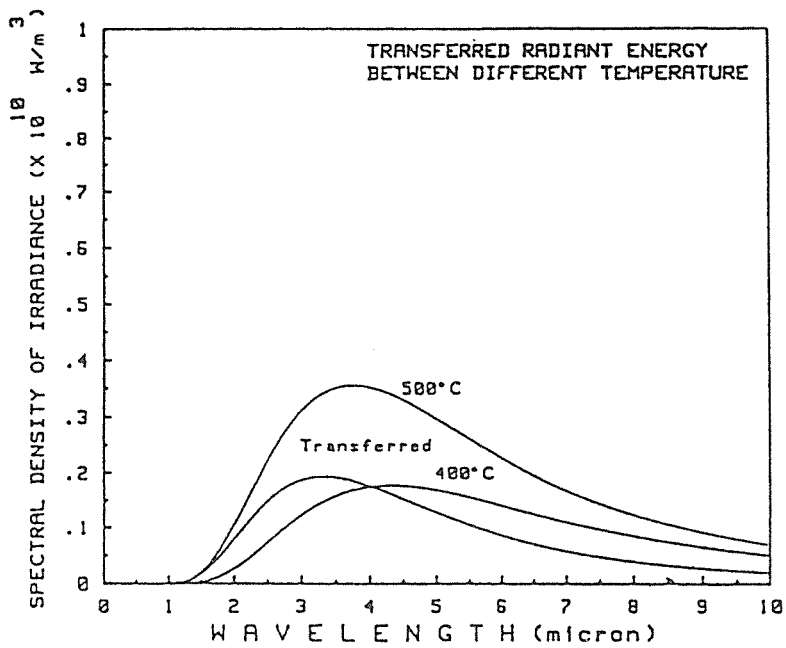


그림3 두 물체간 방사에 의한 에너지 전달 상황(②500°C와 400°C의 경우)

여담이지만, 최근 원적외선의 [비열효과]라던가 [상온효과]라는 명칭으로, 상온에 있는 물체와 아주 근소한 온도차(겨우 10°C 이하)인 에너지원으로부터의 에너지 전달에 의한 효과가 화제가 되고 있는데, 그림3의 결과로 보아, 상당히 근소한 양의 에너지에 의한 효과를 문제로 했다는 것을 알 수 있다. 따라서, 만약 효과가 있다고 해도, 상당히 근소하여, 그 입증이 어렵지 않을까 생각되는데, 본제에서 벗어나므로 이에 대한 논의는 다른 기회에 하고자 한다.

#### 4. 가열용 적외방사원의 종류와 특성

실제 적외가열장치에는 적절하게 설계·제작된(보통은 복수개의) 적외방사원이 함께 사용된다. 이들 적외방사원은 각각의 에너지 변환과정으로 1차 에너지를 적외방사 에너지로 변환하는 시스템이다.

표3(다음 페이지)에는 이들 적외방사원 가운데 대표적인 것에 대해, 에너지 변환의 기구, 사용되고 있는 에너지 변환물질(방사물질), 방사과장역, 기타 특징 등에 대해 정리한 것을 나타내었다.

원래대로라면 이 표3에 각각에 대해 자세히 기술할 필요가 있겠지만, 본 자료의 지면에 여유가 없으므로 생략하겠다. 관련된 여러 문헌을 참고하기 바란다.

#### 5. 물질의 방사율과 고효율 원적외방사재료

3항에서 열방사의 경우 에너지 변환에 대해서는, 프랭크의 방사칙에 의거, 방사특성을 계산으로 구할 수 있다고 기술했는데, 실제 물질은 항상 에너지 변환이 이 공식대로 이상적으로 이루어지는 것이 아니다. 실제 물질에 대해, 이 에너지 변환 과정에 있어 이상상태와의 [차이]를 나타내는 특성을 [방사율]이라고 한다.

방사율(통상  $\epsilon$ 로 나타낸다)이란, 동일조건에서 비교한, 그 물질과 흑체(프랭크의 방사칙대로 에너지 변환이 이상적으로 일어나는 물질)과의 방사량의 비를 말하는 것으로, 실제 물질에서는  $0 < \epsilon < 1$ 이다. ( $\epsilon = 1$ 이 흑체임을 나타낸다.)

방사율은 물질 개개에 특유한 값을 나타내는 이외에, 같은 물질이라도 온도, 대상과장, 표면의 성상 등에 따라 다른 값을 보인다. (실제로는  $\epsilon(\lambda, T)$ ---방사율은, 과장과 온도의 관수이다.) 또,  $\epsilon(\lambda, T)$ 가 1에 가까울수록, 열에너지의 전자파로의 변환이 이상적으로 이



표3. 적외방사원의 종류와 특성

분류	1차에너지	에너지변환 기구	방사물질	방사원 예	방사파장	비고	
방사열	전기	방사체에 직접 통전하여 그 저항발열에 의해 변환된 열에너지로 방사체를 자기가열한다.	텅스텐 탄소 탄타르	적외전구	0.8-2.5	· 외관벨브(유리)으로 장파장측의 방사가 차단된다. · 외관벨브로부터의 2차 방사 있음	
			니크롬 칸타르	가정용 스토브 토스터 가정용 전열기	2-5	· 외관(유리)가 있는 것은 위와 같다.	
			산화지르코늄 산화이트륨 산화트리튬의 혼합물	네른스트 그로어	1-50	· 통전초기, 예열이 필요(저항의 온도계수가 음이기 때문).	
			탄화구소 이규화 몰리브덴 크롬산렌턴	그로버	1-50	· 공기속에서 통전가능 (단, 산화에 의해 저항치는 변화한다).	
		방사체 근방에 배치되어 저항발열체에 통전, 발생한 열에너지를 방사체에 전달하여 가열한다.	구리 스테인리스 니켈	시즈 히터	2~15		
			각종 세라믹스	원적외히터	2~25		
		방사체를 전극으로서 아크방전을 일으키고, 플라즈마기체의 전극에의 충격에 의한 열에너지로 방사체를 가열한다.	탄소	카본 아크램프	1~25	· 탄소에 다른 방사체료를 첨가함으로써 방사파장역을 변화시킨 것(선샤인 카본 등)도 있다.	
	연소(화학 에너지)	방사체 근방에서 연료를 연소시켜, 발생한 열에너지를 방사체에 전달, 가열한다.	산화트리튬 산화지르코늄 산화세슘	웰스바하 · 망토르 라디안토버너	2~25		
	자발방출 루미네센스	전기	방사물질을 포함하는 혼합기체를 방전시켜, 플라즈마속의 에너지 변환으로 방사물질을 구성하는 원자나 분자를 여기한다.	수은 세슘 헬륨 키세논	초고압 수은램프 세슘 아크램프 헬륨가이슬러관 키세논램프	0.8-3	· 선 스펙트럼과 연속스펙트럼의 합성으로 된다 · 외관 벨브로부터의 이차 방사 있음.
	유도방출 루미네센스	전기	방사물질을 구성하는 원자, 분자나 이온을 여기, 그속의 특정준위간 에너지 차에 상당하는 방사만큼을 증폭하여 추출	이산화탄소		10.6	
					1.06		
					0.84		
납 화합물					6.5-28		

루어지고 있다는 것을 나타낸다.

지금까지의 기술에서 알 수 있듯이, 원적외방사원에 사용되는 방사재료로서는, 원적외 파장역(4 $\mu$ m ~ 1mm)에서  $\epsilon(\lambda, T)$ 가 큰 재료가 적합성이 높다고 할 수 있다. 단, 이 방사율의 크고 작음에 대해서는 현재, 아직 이론적으로 예측하기가 곤란하여, 실측에 의한 확인이 필요하다.

방사율의 대소(大小)와, 표면의 성상, 그 밖의 관계에 대해, 각종 실측결과에서 유별(類別)하여 정리한 결과의 한 예를 표4에 나타내었다.

표4 각종 물질의 표면 성상과 방사율의 관계

표면성상, 조성구분	대상온도(°C)	방사율( $\epsilon$ )	
Al	200 ~ 600	진공충착면	0.005 ~ 0.09
		연마면	0.04 ~ 0.06
		조면(粗面)	0.06 ~ 0.12
		산화면	0.3 ~ 0.65
Al합금	200 ~ 600	Al-Cu	0.04 ~ 0.07
		Al-Ag	0.02 ~ 0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (알루미나 세라믹)	200 ~ 1,000		0.6 ~ 0.8
AlN (질화 알루미늄)		0.75 ~ 0.8	
(참고) 탄소	1,000 ~ 2,500		0.85 ~ 0.95
(참고) 벽돌(샤모트질)	800 ~ 1,500		0.90 ~ 0.95

이 표에 의하면, 금속면 그대로보다 표면이 산화한 쪽이 방사율이 높아지고(산화물--즉, 세라믹 재료는 더 높다), 또 광택면보다는 거칠거칠한 면 쪽이 방사율이 높아진다는 것을 알 수 있다. 세라믹 재료가 열방사재료로 사용되는 것이 이런 이유에서이다.

또 각종 측정결과를 통해서 보면, 금속은, 가시역에서 근적외역에 걸쳐, 방사율이 큰 것이 많고, 세라믹 재료는, 원적외역에서 방사율이 큰 것이 많다. 세라믹 재료가 원적외방사 재료로 많이 사용되는 것은 이 때문이다. 그리고 원적외방사원에 사용되는 세라믹 재료는 [원적외(선) 방사 세라믹스]라고 불린다. (적외전구에 방사율이 낮은 금속이 방사체로 사용되는 것은 고유저항이 낮고, 직접 통전에 의한 저항발열로 방사체(저항발열체 그 자체)

를 직접 가열할 수 있다는 이점 이외에, 금속은 방사율은 낮지만, 세라믹 재료에 비해 전연성(展延性), 성형성 등 가공성이 우수하다, 등의 이점이 있기 때문이라고 생각할 수 있다.)

적외방사원의 경우, 당연한 일이지만, 적외역에서 방사율이 높은 물질(재료)을 사용할 필요가 있음은 말할 필요도 없다. 예를 들면, 원적외역에 있어 방사율이 높은 재료는 [고효율원적외방사재료]라고 부른다.

그런데, 이 방사율과 관련하여 한 가지 주의해야 할 것이 있다. 실제 원적외 히터에 방사 재료를 사용할 경우, 방사재료로서 방사율이 1.0인 것과 0.5인 것을 사용한 것으로 한다. 그리고, 방사재료 이외의 부분은 완전히 같은 구조, 설계로 하여, 이 2 종류의 히터를 각각 정격전압으로 통전한 것으로 한다. 또 이 경우 방사율 1.0의 재료를 사용한 쪽의 히터를 정격전압으로 통전했을 때, 히터 표면(방사재료 부분)의 온도가 500°C가 되도록 설계한 것으로 한다. 이때, 히터의 분광방사속분포(分光放射束分布)는, 그림4에 나타낸 것과 같게 된다.

한편, 방사율 0.5인 재료를 사용한 히터의 분광방사속분포는 앞의 히터에 비해 방사율이 1/2이므로(간단하기 때문에 관련된 모든 파장역에 걸쳐 분광방사율이 0.5라고 한다.) 분광방사속분포도 관련 파장역에 있어, 방사율 1.0의 재료를 사용한 히터의 방사속의 1/2이 되고, 따라서 그 분광방사속분포도 그림4의 높이가 되나 하면 사실은 그렇지 않다. (즉 방사출력이 반이 되지 않는다.)

그 이유는 다음과 같다. 즉, 만약 후자의 히터의 방사출력이 반이 되었다고 하면, 입력 에너지의 양은 같기 때문에(방사재료 이외는 완전히 같은 구조·설계로 했기 때문에), 후자의 히터에서는 입력 에너지가 열에너지로 변환되고(이러한 에너지 변환과정에 의한 방식·구조의 히터로 한다), 그 중 50%가 방사출력으로 변환된 것이 된다. 그렇게 되면 나머지 50%의 열에너지는 히터 내부에 그대로 보존되게 되는데, 이 열에너지에 의해 히터의 표면온도가 앞의 500°C보다 높아진다. (열에너지가 다른 프로세스에 의해 히터에서 방출되지 않는 것으로 한다.)

그렇다면, 이것도 앞에서 기술한 프랭크의 방사칙에 의해 온도가 높아진만큼 방사에너지로서 방출되는 부분이 증가하게 되고, 결과적으로 방사에너지로 변환되는 부분의 비율은 방사율 1.0의 재료를 사용한 히터의 경우와 변함이 없게 된다. 즉, 모든 방사속으로서의 양은 같아지게 된다. 하지만 히터 표면(방사재료 부분)의 온도가 높아지므로 분광 특성

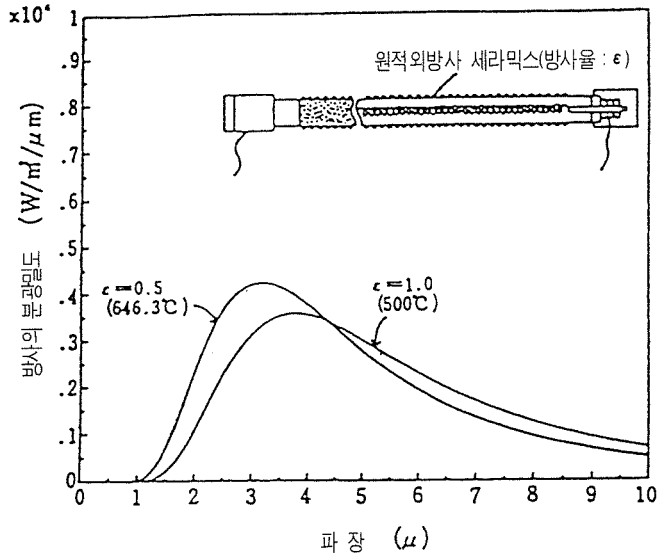


그림4. 재료의 방사율과 실제 히터의 분광방사속분포(①)의 방사율 1.0과 0.5인 경우

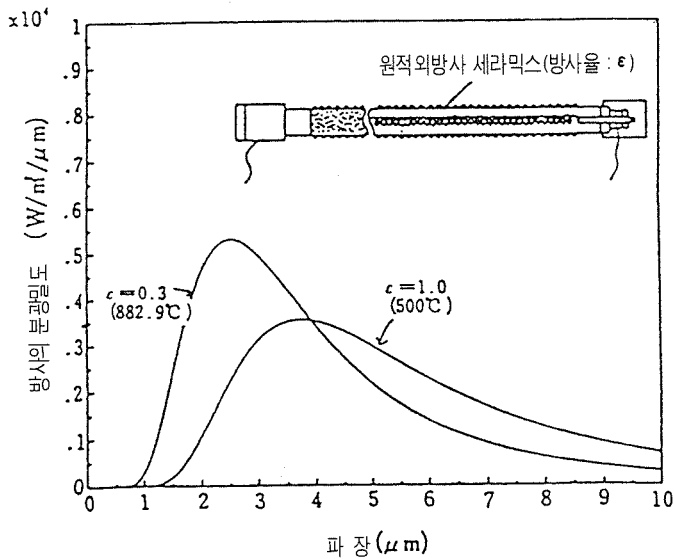


그림5. 재료의 방사율과 실제 히터의 분광방사속분포(②) 방사율 1.0과 0.3인 경우

그 자체는 변하게 되어 방사율 0.5의 경우는 그림4에 나타난 것과 같은 분광분포가 된다. 그리고 이 경우, 히터 표면의 온도는 대략 646.3°C가 된다.

단, 히터에는 반드시 에너지를 입력하기 위한 도입부분(이 경우는 전기에너지이므로 전

기배선 부분)이나 히터를 유지하기 위한 부분이 있고, 이들을 통해서 열에너지의 일부가 전도로 없어지거나, 또 접촉하고 있는 공기의 대류로 없어지는 부분이 있는데, 이 없어지는 비율은 히터의 표면온도가 높을수록 많아지므로 실제적으로는 방사율 1.0의 재료를 사용한 히터 쪽이 방사 에너지로 변환되는 부분은 많아진다. 단, 방사율이 1.0과 0.5이라고 해서 2 배가 되는 것은 아니다. 이 정도의 온도차에서는 실제 차는 근소하다.

이것은 재료의 방사율이 0.3이 되어도 마찬가지이다. 그림5에 방사율이 1.0과 0.3인 경우에 대한 역시 같은 히터의 분광방사속분포를 비교해 놓았다.

## 6. 적외방사에 의한 가열 · 건조기술과 그 실제

### 6.1 적외가열의 기초

가열의 기본이 되는 열에너지의 전달(전열)에는, 이미 기술한 바와 같이 [전도][대류][방사]등 세 가지 형태가 있다. 적외가열은 이 가운데 방사 형태에 의한 가열의 일종이다. 또 이것도 이미 기술했던 것처럼, 이 [전도][대류][방사]는 전열의 3요소라고도 하는데, 방사에 의한 전열은 다른 두 가지 형태와 기본적인 부분에서 크게 차이가 난다. 즉 [전도] 및 [대류] 형태의 전열은, 전달되는 과정 어디를 보아도 에너지는 열에너지이지만, [방사]에 의한 열에너지 전달에 있어서는, 전달 개시 부분과 종료 부분의 에너지의 형태는 열에너지이지만, 그 중간 과정은 열에너지가 아닌 다른 에너지(전자파 에너지)의 형태를 취하고 있다.

이런 형태의 차이가 방사(즉 적외가열)의 특징이 되는 것인데, 이 특징에 관련된 기술이 최근 크게 개발되어, 그 성과로 적외가열(이나 건조)의 새로운 이용분야가 속속 개발되고 있다. 이하에 이와 관련된 주요한 것에 대해 요점을 기술하겠다.

### 6.2 적외가열효율화와 피가열물의 흡수파장역

3 항에서, 이미 기술한 바와 같이, 전도나 대류의 경우에는 열의 이동량이 쌍방의 물체의 온도차 관수인데 비해, 방사의 경우는 절대온도의 4승차가 된다. 따라서 열에너지를 이동시키는 물체간 온도차가 클 경우에는 방사(즉, 적외방사)에 의한 에너지 이동 형태에

따르는 쪽이 유리할 가능성이 생긴다.

적외가열은 비교적 오래 전부터 여러 분야에서 실용화되어 왔는데, 시대의 변천에 의한 관련기술의 개발 등으로, 적외가열이 응용되는 분야의 피가열물에 대해서도 새로운 재료가 개발되기도 하고, 측정방법이 개량·개발되기도 하여 그러한 성과에 대응하여 가열 시스템 그 자체도 개량되어 왔다. 그 한 예로서 피가열물의 흡수과장역과 관련된 사항이 있다.

적외가열방식은 여러 가지 이점이 있기 때문에, 인공 적외방사원의 개발·실용화와 함께 널리 응용되게 되었는데, 초기(주로 1950년 이전)에는 적외역(특히 원적외역)의 분광측정 기술이 별로 발달하지 못했던 것과, 간편하게 사용할 수 있는 인공 적외방사원이 적외전구 뿐이었다는 점 등으로, 적외가열 시스템 효율의 기본인 피가열물의 분광흡수 특성에 대해서도 충분히 분광적인 조사가 실시되지 않은채, 적외전구를 사용한 가열시스템이 실용화되었었다.

그러나 적외가열의 최대 이용분야인 [도료건조] 분야에서 여러 가지 새로운 도료가 개발, 실용화됨에 따라, 가열효율 향상의 필요성 등등으로 도료나 용제의 분광흡수특성을 자세히 조사하게 되었다. 그림 6 ~ 그림 8에 이들 도료의 기본성분이 되는 각종 고분자화합물의 분광흡수특성을 나타내었다. 그림 6 ~ 그림 8에 따르면, 이들 고분자 화합물의 흡수과장역은 대략 6 $\mu$ m 이상의 원적외역에 있다는 것을 알 수 있다.

적외가열장치를 설계할 경우 필요방사원의 등(灯)의 수 N은 다음 (1)식으로 산출할 수 있다.

$$N = \frac{M \cdot \gamma (T - T_0)}{3.600 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \alpha \cdot \eta_3 \cdot W} \quad (1)$$

M : 피가열물 1 시간당의 필요처리량

$\gamma$  : 피가열물의 비열

T, T<sub>0</sub> : 필요 최종온도, 초기의 온도

$\eta_1$  : 반사판, 화로 등의 구조에 의한 적외선 이용효율

$\eta_2$  : 필요가열시간에 대한 필요 최종온도에 달할 때까지의 시간비

$\alpha$  : 피가열물의 거기에 사용할 적외방사원에 대한 방사의 흡수효율

$\eta_3$  : 적외방사원의 방사효율

W : 적외방사원 등(灯) 1개당 입력전력

이 식(1) 중에서 피가열물의 흡수효율  $\alpha$ 라는 것이 앞에서 기술한 분광흡수특성(그림 6 ~ 그림8)과 (1)적외방사원의 분광방사속분포로 산출할 수 있는, 각각의 물질에 대해 흡수 효율을 나타내는 특유의 계수이다.

### 6.3 물의 건조에 대한 원적외선의 효과-물분자의 수소결합과 원적외선

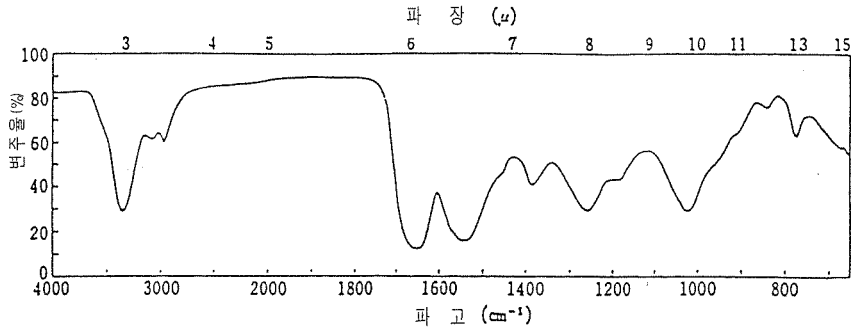


그림6. 고분자 화합물의 분광흡수특성(①요소수지(尿素樹脂))

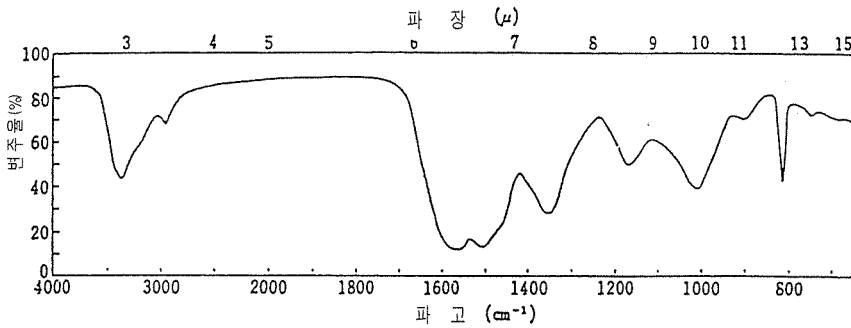


그림7. 고분자 화합물의 분광흡수특성(②멜라민수지)

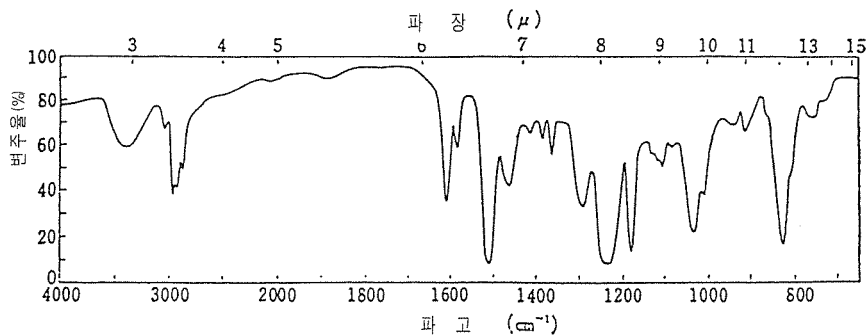


그림8. 고분자 화합물의 분광흡수특성(③에폭시수지)

기체상태인 물(수증기)는, 물분자가 서로 거의 독립운동을 하고 있다. 기체상태인 물분자의 구조를 그림9에 나타내었다. 물분자를 구성하는 수소원자와 산소원자는 공유결합을 하고 있고, 그 공유결합의 결합 에너지는 대략 110.6kcal/mol이다.

그런데 2개 이상의 물분자가 적당한 위치관계가 되면, 산소원자와 다른 물분자인 수소원자와의 사이에 흡인력이 생겨 서로 결합한다고 알려져 있다. 이 결합을 수소결합이라고 한다. 이 수소결합을 일으키는 이유는 다음과 같이 설명된다. 즉, 물분자의 수소원자와 산소원자의 공유결합의 수소 쪽은 수소원자와 산소원자의 공간적 위치관계에서 산소 쪽에 대해 전기음성도가 커진다. 서로 가까운 두 개의 물분자가 적당한 위치관계가 되면, 하나의 물분자 가운데 수소가 다른 물분자 중의 산소를 끌어당기고, 게다가 이런 위치에서는 전기적 반발력은 비교적 적기 때문에, 중요한 흡인력은 분자를 서로 끌어당기는 정도로 강해지는 경우가 많고, 그 결과, 결합이 일어난다.

물분자의 경우는 이 수소결합이 생기기 때문에, 물분자가 여러 개 모이면 서로 들러붙기 쉬운 상태가 된다(그림 10 참조). 물의 증발(건조)란, 모인 상태의 (액상의) 물분자를 각각 독립시켜 공기 속으로 방출하는 일인데, 당연한 일이지만 물분자를 각각 독립시키려면, 이 수소결합을 이간시키기 위한 (여분의) 에너지가 필요하게 되므로, 수소결합을 일으키는 성질이 없는 다른 용제에 비해 증발이 어려워진다(건조가 잘 되지 않는다)고 말할 수 있다.

표5(다음 페이지)에 대표적인 각종 용제에 대한 특성을 비교하여 제시했다. 이 표에 따르면, 용제가 증발하기 쉬운 상태를 나타낸다고 생각되는 특성항목(증발속도, 증기압, 증발열(기화열) 등)에 대해 비교하면, 물은 다른 용제(예를 들면, 메타놀, 에타놀, 초산푸틸 등의 유기용제)에 비해 훨씬 증발이 어렵다(따라서 건조가 잘 되지 않는다)는 것을 알 수 있다. (증발속도나 증기압 등은 그야말로 거의 자릿수가 다를 정도로 차이가 있다.

그런데, 이 수소결합이 결합에너지는 물분자의 경우 2 ~ 8kcal/mol이고, 대응하는 광방사(전자파)의 파장은 3.58~14.3 $\mu$ m이 된다. 이 파장은 정확히 원적외 영역에 해당하고, 따라서 원적외선은 물에 직접 작용하여(흡수된 후 열에너지로 변환된 뒤에 작용하는 것이 아니라) 물분자 상호간의 수소결합의 이간을 촉진한다(이간에 의해 물의 증발이 촉진된다)고 할 수 있다.

물 건조의 경우, 건조용 에너지에 원적외선을 사용(또는 병용)하면 에너지 이용효율이



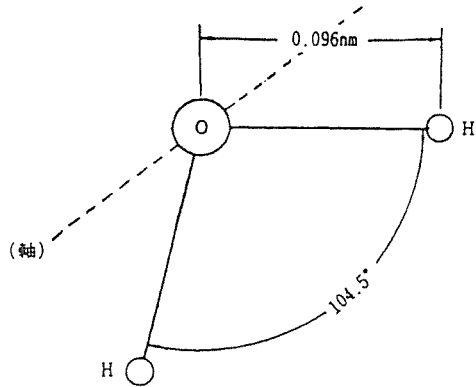


그림9. 물분자의 구조

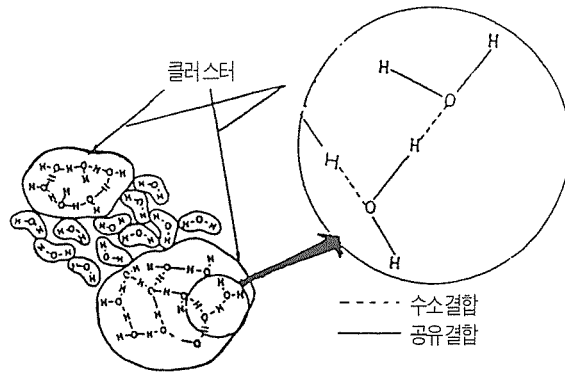


그림10. 물분자의 수소결합과 클러스터

표5 각종 액체의 특성 비교

용제	분자량	비점(순) ℃	증발속도(중량) (초산프탈 = 100)	증기압 mm/30℃	초산프탈의 동일치 대 증기압 x 분자량의 비	증발열 KJ/kg/30℃
초산메틸	74.0	59~60	1,040	265	1,062	440.0
아세톤	58.0	56.1	720	280	875	544.7
초산에틸	88.1	77.1	525	120	570	406.4
메틸에틸케톤	72.1	79.6	465	119	462	469.3
초산이소프로필	102.1	89.0	435	74	406	364.5
메타놀	32.0	64.5	370	165	284	1,158.4
이소프로피놀	60.0	82.5	205	60	194	771.0
에타놀	46.0	78.5	203	79	193	905.9
올루엔	92.1	111.0	195	36	173	410.6
초산이소프탈	116.1	118.3	152	27	169	-
이소프타놀	74.1	107~8	83	18	63	615.9
카실렌	106.1	135~45	68	11	63	-
메틸셀로솔프	76.0	124.5	55	-	-	532.1
셀로솔프	90.1	135.0	40	7	34	519.6
시크로헥사노	98.1	155~7	25	7	37.2	-
프틸셀로솔프	118.1	170.6	10	2	12.9	404.3
물	18.0	100.0	38	14	13.6	2,428.1

개선되어 건조시간이 빨라지는 것이 이런 이유 때문이다.

고체상태(얼음)가 되면, 물분자는 수소결합으로 규칙적으로 결합하는데 실제로는 분자간에 상당한 공간이 존재한다. 이것은 강력하고 게다가 방향성이 있는 수소결합이 다른 모든 분자간력에 우선하여 결정구조를 결정하기 때문이다. 만약 분자간 공간이 감소하도록 물분자의 배열을 바꾸면, 분자의 상대적인 위치는 더 이상 수소결합에 가장 좋은 상태가 아니게 된다. 얼음을 2,000기압 이상으로 가압하면 이러한 배열의 변화가 일어나 전부해서 5 종류의 결정형 얼음을 얻을 수 있는데, 그 결정형은 최후의 압력과 온도로 결정된다. 이들은 모두 물보다 고밀도여서 압력이 낮아지면 보통 얼음으로 돌아가는 것이 알려져 있다. 보통 물(액체상태)에도 수소결합이 존재한다. 얼음이 용해하면 대부분의 수소결합이 절단되기 때문에 분자를 규칙적인 배열로 유지할 수 없게 되는데, 이는 또한 수소결합에 의해 액체인 물의 많은 이상한 성질을 나타낸다. 물을 0°C부터 가열해 나가면, 4°C까지는 수축하고, 그 이상이 되면 온도의 상승과 함께 팽창되어 가는 현상 및 얼음이 녹을 때의 밀도의 증가는, 모두 온도의 상승과 함께 공간으로 퍼져간 수소결합구조가 붕괴해 나가기 때문이다. 물의 점도는 온도가 0°C에서 100°C로 상승하면 1/10으로 감소하는데, 이것도 물분자의 열운동의 증가로 수소결합이 붕괴되어 물 속의 빙상(氷狀) 특성이 감소하기 때문이다. 물은 100°C에서도 여전히 수소결합의 영향을 강하게 받아 같은 분자량의 다른 물질에 비해 융점이 높고 증발열도 크다.

## 7. 맺으며 - 적외방사에 의한 가열·건조기술의 미래

이상 원적외방사에 초점을 맞추면서 최근의 적외가열·건조기술의 동향에 대해 기술해 왔는데, 가열·건조장치에 대한 적외방사의 공간분포의 개량, 원적외방사효율의 향상과 비열효과와의 관련 등, 앞으로 연구로 삼아야 할 점도 많다고 생각된다.

잘 알려진 바와 같이, 적외방사에 의한 가열·건조는 여러 가지 우수한 장점이 있으므로 산업면, 생활면, 운수면 등 모든 면에서 앞으로 점점 더 이용의 다양화와 발전이 기대된다. 이용의 다양화와 발전이 진행되면 그에 대응하여 관련 기초기술과 신소재가 차례차례 개발되고, 그럼으로써 더욱더 새로운 응용전개를 피하게 되어, 이용분야가 더더욱 넓혀지리라 생각된다. 이에 지금까지 기술해 온 내용이 그러한 전개, 발전에 일조가 되고, 결과적으로 우리들의 일상생활의 향상으로 이어지기를 기대해 마지 않는다.

## 참고문헌

- (1) 전기학회편 : 전기공학핸드북, 전기학회(1988)
- (2) 堀 克彦 : 공업용전기기열, 에너지절약센터(省エネルギーセンター)(1986)
- (3) 전기학회편 : 전기전 문용어집, No13, 조명, 코로나사(1977)
- (4) JS Z 8113 : 조명용어(1988)
- (5) 문부성(文部省)편집 : 학술용어집 전기공학편, 코로나사(1978)
- (6) 전기·전자공학대백과사전 제19권, 전기서원(1983)
- (7) 河本康太郎 : 원적외 방사의 개념과 파장구분(1)  
-에너지 이용의 입장에서, 전기·정보관련 학회연합대회예고집(1986)
- (8) (EC Publication : International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 841, (1983)
- (9) 조명학회편 : 라이팅 핸드북, 옴사(1988)
- (10) 일본전열협회편 : 적외가열용어집(1988)
- (11) 河本康太郎 : 최근의 원적외선기술, 종합기술센터(1988)
- (12) 河本康太郎 : 원적외 방사재료, 재료과학, 14, No ~ No5 (1977) 267
- (13) D. Y. Syet:Thermal Radiation, Consultants Bureau, (1965)
- (14) Y. S. Touloukian, d.p.Dewitt, R. S. Hernics:Thermal Radiative Properties, vol 7, 8, 9, IFI/Plenum, (1973)
- (15) 河本康太郎 : 원적외 방사 세라믹스, 주택설비 9 월호(1988) 44  
河本康太郎 : 원적외선 가열과 원적외 방사원의 연구, 적외선기술, 제14호(1989) 3  
[원적외선 세라믹스의 기술기반 정비에 관한 조사연구] 보고서,  
(사) 일본화인세라믹스협회(1989)